Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 4, Winter 2024, p. 1043-1058

Evaluation of Some Quantitative and Qualitative Traits of Shirazi Balangu (*Lallemantia royleana*) Medicinal Plant in Response to Salinity Stress and Mycorrhizal Fung

E. Nabizadeh[1]*, M. Haghshenas[2], K. Ahmadi[3]

1- Associate Professor, Department of Agrothechnology, Faculty of Agricultural, Islamic Azad University, Mahabad Branch, Mahabad, Iran
(*- Corresponding Author Email: nabizadeh.esmaeil@gmail.com)
2- Ph.D. Student in Horticulture, Faculty of Agriculture, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran
3- Ph.D. in Crop Physiology, Faculty of Agricultural Sciences, Shahed University, Tehran, Iran

Received: 31-12-2022 Revised: 13-02-2023 Accepted: 23-02-2023 Available Online: 24-02-2023	**How to cite this article:** Nabizadeh, E., Haghshenas, M., & Ahmadi, K. (2024). Evaluation of some quantitative and qualitative traits of Shirazi Balangu (*Lallemantia royleana*) medicinal plant in response to salinity stress and mycorrhizal fung. *Journal of Horticultural Science*, *37*(4), 1043-1058. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2023. 80330.1223

Introduction

The medicinal plant of Balangu Shirazi (*Lalemantia royleana* Benth) to the Lamiaceae or Labiateae family. This medicinal plant is native to the tropical regions of Asia, India, Afghanistan and Pakistan. This plant is also found in various regions of the Middle East and Europe, especially Turkey, Iran and in the Siberian regions of Russia, i.e. in Western Siberia. Due to the presence of high mucilage content, *Lallemantia royleana* seeds quickly absorb water through the hydration process and produce a sticky, cloudy and tasteless liquid that can be used as a new source of hydrocolloid in food formulations as well. Soil salinity is a growing problem in agricultural ecosystems that endangers the growth and productivity of plants. Salinity causes ionic toxicity, nutritional imbalance, pigment destruction and inhibition of photosynthesis, oxidative and osmotic stress, limited release of CO_2 in leaves, changes in metabolic pathways, cell deformation, premature aging and finally cell death in it becomes a plant. Therefore, effective solutions to deal with soil salinity under agricultural management systems can include all kinds of salt-resistant species and biotechnological approaches such as the use of beneficial microorganisms that are able to improve plant tolerance to salt. Mycorrhizal fungi, one of the common soil microbes, can occupy the roots of most terrestrial plant species. Notably, mycorrhizal fungi can improve host plant tolerance to salinity stress by a series of physiological and biochemical mechanisms, including higher water use efficiency, photosynthetic capacity, maintaining ion homeostasis, osmotic protection, maintaining cell ultrastructure and enhancing antioxidant metabolism. This study was conducted with the aim of investigating the role of three mycorrhizal fungi on seed yield, physiological characteristics and mineral elements (N, P and K) of the medicinal plant *L. royleana* under salt stress conditions.

Materials and Methods

This experiment was factorial based on a completely randomized design including the treatment of mycorrhizal fungi at three levels (*R. irregularis*, *G. versiform*, *F. mosseae*) with the number of spores 5 x 106 per milliliter of inoculum and salinity stress including four level (0, 2, 4, 6 and 8 dS/m of sodium chloride salt) was done in three repetitions. This experiment was carried out in 2018 in a greenhouse at Islamic Azad University, Mahabad Branch, day and night temperatures were 25 and 22 degrees Celsius, respectively, with two

https://doi.org/10.22067/jhs.2023.80330.1223

relative humidity levels of 60 (during the day) and 40 (at night). The percentage and amount of carbon dioxide was about ($mMol.mol^{-1}$) 500-600. Shirazi Balangu seeds were obtained from Pakan Seed Company of Isfahan with 99% purity and 80% potency. Distilled water was used for zero treatment (control) and pure sodium chloride salt (Merck, Germany) was used to prepare solutions with electrical conductivity of 2, 4, 6 and 8 dS/m. Balango seeds were sown in the middle of Mehr in pots with an opening diameter of 20 cm and a length of 18 cm containing soil, sand and manure (2:1:1) at a depth of 0.5-1 cm. Three fungi *G. versiform*, *R. irregularis* and *F. mosseae* were used for mycorrhiza inoculation, and there were at least 50 live spores in each gram of soil. The ratio of the inoculant used to the soil was one to nine (by volume) and in layers. In order to prevent any deficiency of nutrients, 10 ml of Hoagland nutrient solution with half the concentration of phosphorus was added to all the pots every week. The traits under study encompassed the seed yield of a single plant, seed oil percentage, antioxidant capacity, proline content, as well as the leakage of ionic substances and nutrients such as nitrogen, phosphorus, and potassium. Analysis of variance (ANOVA) was conducted on the data using SAS 9.1 statistical software. Mean comparisons among traits were performed utilizing Duncan's test at a significance level of 5%.

Results and Discussion

The results showed that the traits evaluated in the present study were affected by mycorrhizal fungus treatments, salinity stress and the mutual effect of fungi in salinity stress. Seedlings inoculated with mycorrhizal fungus *R. irregularis* had the highest seed yield, percentage of oil, proline, antioxidant power and mineral elements compared to the other two strains of mycorrhizal fungus. Salinity stress increased the percentage of oil, proline, and antioxidant power of *L. royleana* medicinal plant leaves, and increasing the salinity stress from 0 to 8 dS/m decreased grain yield and mineral elements. According to the comparison results of the average effect of fungus interaction in salt stress, the highest amount of seed yield and mineral elements in plant inoculation with *R. irregularis* fungus was observed in the absence of salt stress, as well as the highest amount of traits of oil percentage, proline and antioxidant power. It was obtained in a tension of 8 dS/m. According to the results of the present research, the use of *R. irregularis* mushroom strain had the most positive effect on the quantitative and qualitative characteristics of *L. royleana* medicinal plant compared to the absence of mushroom inoculation.

Conclusion

In general, the results of this study showed that mycorrhizal inoculation had a positive and significant effect on seed yield, antioxidant capacity, oil percentage, proline content and the concentration of nitrogen, phosphorus and potassium elements in *L. royleana* plant. Also, the results indicated that the use of mycorrhiza in the cultivation of *L. royleana* can partially prevent the occurrence of element deficiency in saline soils and reduce the high consumption of chemical fertilizers. This assertion has been corroborated by research conducted by other scholars focusing on medicinal plants. Employing mycorrhizal symbiosis in saline soils has been shown to enhance plant resistance to salinity. Therefore, by employing a suitable mycorrhizal strain with salinity resistance, it becomes feasible to mitigate the departure of saline soils from the production cycle, thereby averting consumption-related issues. Furthermore, the excessive use of chemical fertilizers has led to numerous problems, highlighting the need for alternative approaches.

Keywords: Antioxidant, Balangu, Mycorrhiza, Nitrogen, Proline content

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ٤، زمستان ١٤٠٢، ص. ١٠٥٨-١٠٤٣

ارزیابی برخی صفات کمی و کیفی گیاه دارویی بالنگوی شیرازی (*Lallemantia royleana*) در پاسخ به تنش شوری و قارچ‌های میکوریزا

اسمعیل نبی‌زاده[1]*- مسعود حق‌شناس[2]- خدیجه احمدی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۴

چکیده

گیاهان دارویی منابع مهمی از ترکیبات دارویی هستند که از زمان‌های قدیم در درمان بسیاری از بیماری‌ها استفاده شده است. گیاهان دارویی با میکروارگانیسم‌های متعددی که به‌صورت همزیست در قسمت‌های مختلف گیاهان رشد می‌کنند، ارتباط برقرار کرده‌اند. به‌منظور بررسی اثر قارچ‌های میکوریزا در شرایط تنش شوری بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عناصر ریزمغذی گیاه دارویی بالنگوی شیرازی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در سال ۱۳۹۸ در گلخانه دانشگاه آزاد اسلامی مهاباد اجرا شد. فاکتور اول تنش شوری در چهار سطح (صفر (آب مقطر)، ۲، ۴، ۶ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر ناشی از نمک کلرید سدیم) و عامل دوم تلقیح نشا با سه قارچ میکوریزا (*R. irregularis*, *F. G. versiform, mosseae*) بودند. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد دانه تک بوته، درصد روغن دانه، ظرفیت آنتی‌اکسیدان، محتوای پرولین، نشت مواد یونی و عناصر غذایی شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم بودند. نتایج نشان داد که صفات مورد ارزیابی در پژوهش حاضر تحت تأثیر تیمارهای قارچ میکوریزا، تنش شوری و اثر متقابل قارچ در تنش شوری قرار گرفتند. گیاهچه‌هایی که با قارچ میکوریزا *R. irregularis* تلقیح شده دارای بیش‌ترین میزان عملکرد دانه تک بوته (۲۷۶/۹۴ گرم)، درصد روغن (۳۰/۵۱ درصد)، پرولین (۲۴۶/۶۰ میلی‌گرم بر گرم)، قدرت آنتی‌اکسیدان (۴۹/۳۲ درصد) و عناصر معدنی نسبت به دو سویه دیگر قارچ میکوریزا بودند. تنش شوری موجب افزایش درصد روغن (۲۷/۳۳ درصد)، پرولین (۲۴۲/۰۸ میلی‌گرم بر گرم)، قدرت آنتی‌اکسیدان (۳۹/۱۳ درصد) برگ گیاه دارویی بالنگوی شیرازی شد و با افزایش تنش شوری از صفر به ۸ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش صفات عملکرد دانه (۱۰۹/۰۳ گرم) و عناصر معدنی (N=۳/۴۷٪، P=۰/۴۰٪ و K=۱/۱۶٪) شد. طبق نتایج مقایسه میانگین اثر برهمکنش قارچ در تنش شوری، بیش‌ترین میزان عملکرد دانه (۳۶۱/۸۱ گرم) و عناصر معدنی (N=۷/۳۳٪، P=۰/۷۹٪ و K=۲/۵۵٪) در تلقیح گیاه با قارچ *R. irregularis* در عدم تنش شوری مشاهده شد و همچنین بیش‌ترین میزان صفات درصد روغن (۳۳/۶۸ درصد)، پرولین (۳۱۱/۳۳ میلی‌گرم بر گرم) و قدرت آنتی‌اکسیدانی (۶۰/۲۷ درصد) در تنش ۸ دسی‌زیمنس بر متر بدست آمد. باتوجه به نتایج تحقیق حاضر استفاده از سویه قارچ *R. irregularis* بیش‌ترین تأثیر مثبت بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی بالنگوی شیرازی نسبت به عدم تلقیح قارچ برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، بالنگوی شیرازی، میکوریزا، محتوای پرولین، نیتروژن

۱- دانشیار گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، مهاباد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: nabizadeh.esmaeil@gmail.com)
۲- دانشجوی دکتری تخصصی گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۳- دکتری تخصصی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

https://doi.org/10.22067/jhs.2023.80330.1223

مقدمه

گیاه دارویی بالنگوی شیرازی (*Lalemantia royleana* Benth) متعلق به خانواده Lamiaceae یا Labiateae است. این گیاه با ارزش دارویی بومی مناطق گرمسیری آسیا، هند، افغانستان و پاکستان است (Abbas *et al.*, 2012). این گیاه همچنین در مناطق مختلف کشورهای خاورمیانه و اروپا به‌ویژه ترکیه، ایران و در مناطق سیبری روسیه یعنی در سیبری غربی یافت می‌شود (Zargari 1980). دانه های بالنگوی شیرازی به‌دلیل وجود محتوای موسیلاژ بالا، با فرآیند هیدراتاسیون به سرعت آب را جذب می‌کنند و مایعی چسبنده، کدر و بی مزه تولید می‌کنند که می‌توانند به‌عنوان منبع جدیدی از هیدروکلوئید در فرمولاسیون‌های غذایی و همچنین در طیف وسیعی از محصولات سنتی یا محصولات صنعتی در ترکیه و ایران استفاده شود (Razavi *et al.*, 2008). صمغ بذر آن حاوی ۰/۸۷ درصد پروتئین، ۶۱/۷۴ درصد کربوهیدرات، ۸/۳۳ درصد خاکستر و ۲۹/۶۶ درصد فیبر خام است (Amini , 2007). دانه‌های موسیلاژی معمولاً به‌عنوان عوامل ترمیم کننده در برابر بیماری‌های مختلف استفاده می شود. ریشه این گیاه برای درمان سرفه شناخته شده است و پماد دانه-های مرطوب شده برای جوش، آبسه و التهاب مفید است. در طب چینی، *L. royleana* یکی از مواد اصلی پماد مورد استفاده در درمان تومورهای پوستی است. از دانه‌های این گیاه به‌عنوان آرام‌بخش نیز استفاده می‌شود و قابض، مقوی قلب، ضد نفخ و تسکین‌دهنده ناراحتی های روده و گرمی معده است (Naghibi *et al.*, 2008). جوشانده برگ و ریشه آن برای درمان ذات‌الریه استفاده می‌شود. همچنین حاوی تمام آمینو اسیدهای موجود در گیاه است. این مطالعات وجود کربوهیدرات، فیبر، روغن، پروتئین و تانن را نشان داده است (Abdulrasool *et al.*, 2011).

شوری خاک یک مشکل رو به رشد در اکوسیستم‌های کشاورزی است که رشد و بهره‌وری گیاهان را به خطر می‌اندازد. شوری باعث سمیت یونی (Na^+ و Cl^-)، عدم تعادل تغذیه‌ای، تخریب رنگدانه و مهار فتوسنتز، تنش اکسیداتیو و اسمزی، انتشار محدود CO_2 در برگ، تغییر مسیرهای متابولیک، تغییر شکل سلولی، پیری زودرس و در نهایت مرگ سلولی در گیاه می‌شود (Zelm *et al.*, 2020). پیش‌بینی می‌شود که حدود یک میلیارد هکتار از بیش از ۱۰۰ کشور جهان با مشکلات تنش شوری مواجه هستند و شوری به سرعت در حال افزایش است. ۰/۳ الی ۱/۵ میلیون هکتار زمین‌های کشاورزی تحت تنش شوری هستند (FAO, 2015). بنابراین، راهکارهای کارآمد برای مقابله با شوری خاک تحت سیستم‌های مدیریت کشاورزی می‌تواند شامل انواع گونه‌های مقاوم به نمک و رویکردهای بیوتکنولوژیکی مانند استفاده از میکروارگانیسم‌های مفیدی باشد که قادر به بهبود تحمل گیاه به نمک هستند (Baum *et al.*, 2015).

قارچ‌های مایکوریزی، یکی از میکروارگانیسم‌های رایج خاک هستند که می‌توانند با ریشه‌های بیشتر گونه‌های گیاهی رابطه همزیستی برقرار کنند. گزارش شده است که این قارچ‌های همزیست به‌طور قابل توجهی مزایای مختلفی مانند افزایش جذب مواد مغذی معدنی و آب و افزایش تحمل به محیط های استرس‌زا را برای گیاهان میزبان خود ارائه می‌دهند (Baum *et al.*, 2015). به‌طور قابل‌توجهی، قارچ‌های میکوریزای می‌توانند تحمل گیاه میزبان را به تنش شوری با مجموعه‌ای از مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، از جمله راندمان مصرف آب بالاتر، ظرفیت فتوسنتزی، حفظ هموستاز یونی، محافظت از اسمز، حفظ فراساختار سلولی، و تقویت متابولیسم آنتی‌اکسیدانی بهبود بخشند (Evelin *et al.*, 2019). در کاهو، تلقیح قارچ‌های مایکوریزی باعث افزایش تجمع پرولین و فعالیت آنتی‌اکسیدان هایی مانند کاتالاز (CAT)، سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و آسکوربات پراکسیداز شد، اما سنتز ترکیبات فنلی و استرس اکسیداتیو را با رشد زیاد در گیاهان در معرض تنش شوری کاهش داد (Santander *et al.*, 2019; Soleimani *et al.*, 2023). اخیراً ثابت شده است که قارچ‌های مایکوریزی باعث افزایش رشد، جذب مواد مغذی (P، K، Mg) و نسبت کلروفیل کل، کاروتنوئیدها، Ca:Na، Mg:Na و K:Na در شاخساره‌های گیاه دارویی *Valeriana officinalis* تحت تنش شوری شده است (Amanifar & Toghranegar, 2020). نویسندگان همچنین پرولین ریشه تحریک شده، کل قندهای محلول و فنول کل را در شاخساره گیاهان میکوریزی تحت شرایط تنش شوری نشان دادند (Li *et al.*, 2020). ترکیبات زیست فعال انباشته شده در گیاهان دارویی مستعد تغییرات در فصول رشد، سال‌های رشد و عوامل محیطی هستند (Li *et al.*, 2020). در واقع، تنش‌های غیرزیستی محرک‌های قوی تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان هستند، زیرا آنها از انرژی خود در مکانیسم‌های دفاعی با فعال کردن مسیرهای بیوسنتز خاص استفاده می‌کنند (Caretto *et al.*, 2015; Toscano *et al.*, 2019). علیرغم اثرات مضر شوری، این تنش غیر زیستی یکی از عوامل اصلی تأثیرگذار بر فیزیولوژی، بیوشیمی و سنتز ترکیبات فعال زیستی در بسیاری از گیاهان دارویی است (Behdad *et al.*, 2020). اخیراً بررسی شده است که ترکیبات محلول، ظرفیت آنتی‌اکسیدان و ترکیبات فنلی در گیاهان *Polygonum equisetiforme* با سطوح شوری به طور قابل‌توجهی در تنش ۳۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم افزایش یافتند (Boughalleb *et al.*, 2020). این مطالعه با هدف بررسی نقش سه قارچ میکوریزای بر عملکرد دانه، ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عناصر معدنی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) گیاه دارویی بالنگوی شیرازی در شرایط تنش شوری انجام شد.

مواد و روش‌ها

مراحل آزمایش و شرایط رشد

آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی شامل تیمار قارچ میکوریزا در سه سطح (*G. versiform*, *R. irregularis*, *F. mosseae*) با تعداد اسپورها ۱۰^۶ × ۵ عدد در هر میلی‌لیتر مایه تلقیح و تنش شوری شامل چهار سطح (صفر، ۲، ۴، ۶ و ۸ دسی زیمنس بر متر نمک کلرید سدیم) در سه تکرار انجام گرفت. این آزمایش در سال ۱۳۹۸ به‌صورت گلخانه‌ای در دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد انجام شد، دمای روز و شب به‌ترتیب ۲۵ و ۲۲ درجه سانتی‌گراد، با دو سطح رطوبت نسبی ۶۰ (طی روز) و ۴۰ (طی شب) درصد و مقدار دی‌اکسید کربن حدود ($mMol.mol^{-1}$) ۵۰۰–۶۰۰ بود. بذور بالنگوی شیرازی از شرکت پاکان بذر اصفهان با درجه خلوص ۹۹٪ و قوه نامیه ۸۰٪ تهیه شدند. برای تیمار صفر (شاهد) از آب مقطر و برای تهیه محلول‌هایی با هدایت الکتریکی ۲، ۴، ۶ و ۸ دسی زیمنس بر متر از نمک کلرید سدیم خالص (مرک، آلمان) استفاده گردید. برای این آزمایش گیاهچه‌های یکسان برای کشت در گلدان های حاوی خاک مزرعه انتخاب شدند. گلدان‌هایی با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و قطر ۲۰ سانتی‌متر تا زیر لبه گلدان با خاک پر شدند. خاک مورد استفاده بافت رسی- لومی بود و در هر گلدان سه نهال کشت شد. در دو هفته اول کشت، تمام گلدان‌ها به‌طور یکسان آبیاری شدند.

تهیه زادمایع قارچ‌های میکوریزا

زاد مایه قارچ‌های میکوریزا از کلکسیون گروه خاک‌شناسی دانشگاه تبریز تهیه شد و به روش کشت تله گلدانی با میزبان سورگوم تکثیر گردید (AL-Khaliel, 2010). به منظور حذف قارچ‌های بومی خاک و به‌طورکلی ایجاد یک محیط عاری از قارچ و حذف عوامل بیماری‌زا خاک لازم برا[1]ی تکثیر قارچ‌های میکوریزا با میزبان سورگوم، توسط اتو کلاو در ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار لازم به مدت یک ساعت ضدعفونی شدند. در پایان دوره، بخش هوایی قطع، سپس ریشه‌های سورگوم خشک، خرد و با خاک گلدان مخلوط شدند و به عنوان زادمایه قارچ میکوریزا مورد استفاده قرار گرفتند. به‌منظور شمارش جمعیت اسپورهای قارچ میکوریزا در خاک از روش شستشو با الک و شناورسازی در محلول ساکاروز ۵۰ درصد استفاده شد (Dalpe, 1993).

برای کشت قارچ‌ها از محیط کشت پیچیده (Complex medium) حاوی عناصر میکرو، ماکرو، نمک‌ها، پپتون و عصاره مخمر استفاده شد، با تهیه تعداد کافی پتری‌دیش محتوای محیط کشت پیچیده، قارچ *P. indica* کشت و در دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد درون انکوباتور به مدت ۱۸ روز جهت تکثیر و تولید کافی اسپور نگهداری شد. پس از اتمام این مدت، اسپورهای قارچی با استفاده از محلول آب–توئین (۰/۰۲ درصد) و با کمک پاروی پلاستیکی جمع آوری شدند و پس از انجام مراحل سانتریفیوژ و انحلال طی سه مرتبه، تعداد آن‌ها با استفاده از لام نئوبار در حدود ۱۰^۶ × ۵ تنظیم شد (Hill & Käfer, 2001).

آماده‌سازی خاک

یک نمونه ترکیبی از خاک لومی شنی (از لایه ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر) از افق سطحی مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد جمع‌آوری شد و سپس از نظر فیزیکی و شیمیایی مشخص شد (جدول ۱). خاک در هوای آزاد خشک شد، با الک ۲ میلی‌متری الک شد و در آون با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت (۳ بار در ۳ روز متوالی) به‌منظور از بین بردن افزایش قارچ‌های بومی میکوریزا آربوسکولار و سایر میکروارگانیسم‌ها، استریل شد.

کاشت بذور بالنگوی شیرازی و اعمال تیمارها

بذور بالنگوی شیرازی در اواسط مهر در گلدان‌های با قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر و طول ۱۸ سانتی‌متر حاوی خاک، ماسه و کود دامی (۲:۱:۱) در عمق ۱–۰/۵ سانتی‌متری کشت گردید. جهت تلقیح میکوریزا از سه قارچ‌های *G. versiform* و *R. irregularis* و *F. mosseae* استفاده شد که داخل هر گرم از خاک حداقل ۵۰ عدد اسپور زنده وجود داشت. نسبت ماده تلقیح استفاده شده به خاک یک به نه (حجمی) و به‌صورت لایه لایه بود (Aliasgharzadeh *et al.*, 2001). جهت جلوگیری از بروز هر گونه کمبود عناصر غذایی به تمام گلدان‌ها هر هفته۱۰ میلی‌لیتر محلول غذایی هوگلند با نصف غلظت فسفر یک روز در میان اضافه شد. زمانی که گیاهچه‌ها به رشد رویشی مناسب ۶ تا ۸ برگی رسیدند تیمار شوری اعمال شد، تنش شوری توسط سیستم هیدروپونیک و همراه محلول غذایی هوگلند اعمال شد و به‌منظور جلوگیری از اثرات تجمعی نمک در پایان هر هفته گیاهان با آب معمولی به‌طور کامل شستشو داده شدند تا تغییرات pH و هدایت الکتریکی بستر کاشت به حداقل برسد (Mavi & Marschner, 2013). پس از اتمام طول دوره رشد سه عدد بوته از هر گلدان انتخاب و تعداد دانه آن وزن گردید سپس با استفاده از نسب عملکرد درگلدان مشخص شد.

1- Inoculum

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی

Table 1- Physical and chemical characteristics of the research farm soil

بافت Texture	درصد اجزای بافت Components of soil percent			کربن آلی O.C (%)	اسیدیته pH	شوری EC ($ds.m^{-1}$)	N ($mg.kg^{-1}$)	P ($mg.kg^{-1}$)	K ($mg.kg^{-1}$)
	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)						
لوم شنی Sandy Loam	22.2	20.2	57.6	1.2	7.35	1.62	6.28	6.52	133

درصد روغن: سنجش روغن دانه به روش سوکسله (Soxhlet, 1879) انجام گردید. ابتدا دانهها را توسط آسیاب پودر شده سپس مقدار ۵ گرم از پودر را در اتوکلاو خشک کرده و درکارتریج سلولزی دستگاه سوکسوله قرارداده و سپس در محفظه بالایی دستگاه مستقر گردید. حلال هگزان درمحفظه پایینی ریخته و گرم کننده دستگاه روشن شد. بخار حلال داغ با گرم شدن محفظه پایینی و پس از تبرید به محتویات پودر دانهها رسیده و مایع ایجاد شده چربی را در خود حل و از طریق مجرای مخصوص خارج و جداگانه جمع‌آوری شد. سپس چربی به جا مانده پس از تبخیر حلال اولیه را توزین کردیم. سپس درصد روغن ازنسبت چربی خارج شده از فرمول زیر به دست آمد.

۱۰۰× مقدار اولیه/ مقدار چربی خارج شده =درصد روغن

پرولین: جهت اندازه‌گیری پرولین از روش بیتس و همکارانش (Bates *et al.*, 1973) استفاده شد. برای اندازه‌گیری پرولین، ابتدا مقدار ۰/۲ گرم از نمونه گیاهی تر بافت برگ توزین شد و در هاون چینی در ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد، به خوبی ساییده شد. ماده همگن حاصل در دستگاه سانتریفوژ با دور ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه، در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس، دو میلی‌لیتر از عصاره‌های صاف شده را به لوله‌های دربدار منتقل نموده و به همه لوله‌ها مقدار دو میلی‌لیتر معرف نین هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال، اضافه شد. پس از بستن درب لوله‌ها، آن‌ها به مدت یک ساعت در آب ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و بعد از سرد شدن، به هر یک از لوله‌ها مقدار چهار میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد. برای مخلوط کردن این دو محلول، به مدت ۲۰- ۱۵ ثانیه با استفاده از ورتکس لوله‌ها تکان داده شدند. سرانجام فاز رویی که به رنگ قرمز در آمده و حاوی پرولین محلول در تولوئن بود را برداشته و همزمان با نمونه‌های استاندارد، میزان جذب آن با اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید و غلظت پرولین بر حسب میلی‌گرم بر گرم بافت تر برگ، با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد.

نشت یونی مواد: برای اندازه‌گیری شاخص ثبات غشا (نشت مواد محلول)، روش ردمن و همکاران (Redman *et al.*, 1986) استفاده شد برای این منظور از برگ‌های کاملاً توسعه یافته یک گرم به‌صورت دیسک‌هایی عاری از آلودگی تهیه گردیده و در ظروف دربستهٔ حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب دی‌یونیزه به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد روی دستگاه شیکر تکان داده شدند. پس از پایان زمان مورد نظر، قرائت اولیه هدایت الکتریکی انجام صورت گرفت (Lt). سپس نمونه به محلول برگردانیده شده و پس از اتوکلاو کردن به مدت ۲۰ دقیقه مجدداً قرائت ثانویه انجام شد (L0). در نهایت میزان نشت مواد محلول از معادله زیر محاسبه گردید.

درصد نشت مواد محلول = (Lt/L0) ×۱۰۰

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی: روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (یا قدرت آنتی‌اکسیدانی) نمونه‌های بیولوژیکی شناخته شده است. در مطالعه حاضر، از روش FRAP برای اندازه‌گیری کاهش میزان کمپلکس ferric tripyridyltriazine (Fe (III)-TPTZ) به ferrous tripyridyltriazine (Fe (II)-TPTZ) با استفاده از یک ماده کاهش دهنده در pH پایین استفاده شد. بنابراین، ظرفیت کاهش به‌عنوان شاخص قدرت آنتی‌اکسیدانی در نظر گرفته شده است. جهت تعیین قدرت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های برگ گیاه بالنگوی شیرازی به مدت ۳۰ دقیقه برای اندازه‌گیری در تاریکی قرار داده شدند. یک گرم از بافت برگ با هاون و با استفاده از ۹ میلی‌لیتر بافر فسفات سرد ۰/۱ مولار (pH= ۷/۶)، حاوی ۰/۱ میلی‌مولار (EDTA) ساییده شد. این مخلوط بعد از عبور از کاغذ صافی و با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. مایع رویی برای اندازه‌گیری قدرت آنتی‌اکسیدان برگ استویا توسط توانایی کاهش آهن پلاسما استفاده شد (FRAP؛ Benzie & Strain, 1996). جذب در ۵۹۳ نانومتر قرائت شد. پتانسیل آنتی اکسیدانی عصاره در برابر منحنی استاندارد معادل سولفات آهن محاسبه شد.

تعیین عناصر معدنی: نمونه‌های گیاه خشک شده آسیاب شده (۰/۱ گرم) و با مخلوطی HNO_3 و $HClO_4$ (با نسبت ۷:۱) هضم شدند (Zhang *et al.*, 1994). غلظت نیتروژن، پتاسیم و فسفر محلول‌های هضم شده با استفاده از اسپکتروفتومتر جذب اتمی (Shimadzu, Japan) تعیین شد.

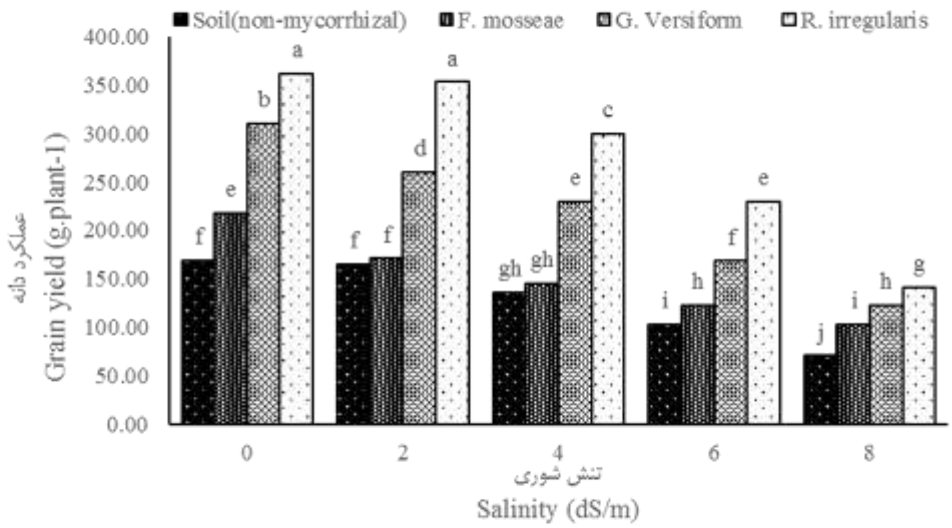
تجزیه آماری داده‌ها

برای تجزیه واریانس داده‌ها از نرم افزار آماری SAS 9.1 استفاده شد. مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه تک بوته

طبق نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی قارچ میکوریزا و تنش شوری و همچنین اثر متقابل قارچ و تنش شوری بر صفت عملکرد دانه تک بوته در سطح احتمال ۱٪ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین حاصل از داده‌ها نشان داد بیش‌ترین عملکرد بوته در تیمار میکوریزای *R. irregularis* با سطوح شوری صفر و دو دسی زیمنس بر متر (به‌ترتیب، ۳۶۱/۸۳ و ۳۵۳/۲۲ گرم در بوته) به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با دیگر تیمارها داشت. کم‌ترین میزان عملکرد بوته نیز مربوط به تیمار شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر با تیمار خاک (بدون میکوریزا با میانگین ۷۰/۱۴ گرم در بوته) بود. تیمار تلقیح با *G. versiform* نسبت به تیمار تلقیح با *F. mosseae* برتری داشت اما اثر آن نسبت به تیمار تلقیح *R. irregularis* کم‌تر بود (شکل ۱). به‌طور کلی نتایج نشان داد با بالا رفتن سطح شوری میزان عملکرد کاهش می‌یابد. افزایش عملکرد در تیمار تلقیح میکوریزا می‌تواند ناشی از تأثیر این قارچ‌ها باشد. قارچ‌های میکوریزا از طریق بهبود جذب عناصر غذایی به‌خصوص عناصر غیرمتحرک سبب افزایش رشد گیاه شده و در نهایت عملکرد بوته و اجزای عملکرد بوته را افزایش می‌دهند.گیاهان تلقیح شده با میکوریزا در محیط شور به دلیل بهبود جذب مواد غذایی بهویژه فسفر و یا تغییر در فیزیولوژی گیاه به تنش شوری تحمل بیش تری را نشان می‌دهند. بنابراین گیاهان میکوریزایی شده عملکرد بذر و مقاومت به شوری بیش‌تری را نشان می‌دهند. می‌توان استنباط کرد که همزیستی میکوریزایی از طریق تغذیه مناسب و افزایش زیست توده، باعث رشد بیش‌تر و در نتیجه عملکرد بوته و بذر بیش تر می‌شود (Daghighi *et al*., 2022). نتایج این پژوهش با نتایج سعادت و همکاران (Sadat *et al*., 2010) مطابقت دارد که معتقدند که همزیستی میکوریزا با بذر زیره سبز به‌دلیل افزایش سیستم ریشه‌ای و در نتیجه افزایش جذب آب و عناصر غذایی بهویژه فسفر موجب بهبود رشد و عملکرد بوته شد. تلقیح با میکوریزا می‌تواند در افزایش مقاومت گیاه به تنش شوری و افزایش ماده خشک و عملکرد بذر گیاه مؤثر باشد (Sadat *et al*., 2010). در گیاهان میکوریزای به دلیل جذب بیشتر فسفر و عناصر کم مصرف که همگی در فرآیند تثبیت نیتروژن مولکولی و فتوسنتز تأثیرگذار می‌باشند، بنابراین بهبود رشد گیاهان بقولات پس از برقراری رابطه همزیستی میکوریزی به افزایش تثبیت نیتروژن و بهبود جذب آن از خاک خصوصاً به فرم NH_4نسبت داده شده است که همین امر موجب ذخیره بیشتر مواد غذایی در دانه شده و در نهایت عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد (Seyed sharifi & Namvar, 2015).



شکل ۱- اثر متقابل قارچ میکوریزا × تنش شوری بر عملکرد دانه بالنگوی شیرازی

Figure 1- The interaction effect of *Mycorrhizal fungus* ×Salinity stress on grain yield of *Lallemantia royleana* (DMRT, *p≤0.05*)

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات قارچ میکوریزا و تنش شوری بر صفات بالنگوی شیرازی

Table 1- ANOVA (mean squares) for the effects of mycorrhizal fungi and salinity stress on the traits of *Lallemantia royleana*

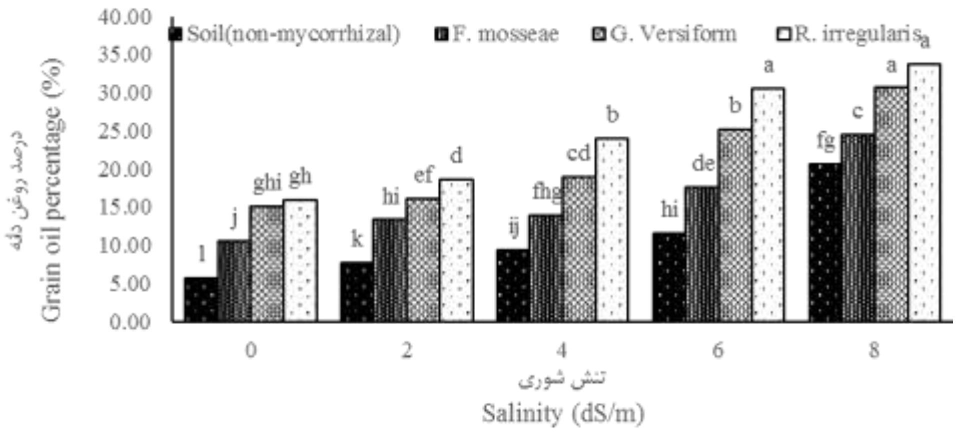
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares				
		عملکرد دانه Grain yield	درصد روغن دانه Grain oil percentage	پرولین Proline	نشت یونی Ion leakage	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant capacity
قارچ میکوریزا *Mycorrhizal fungus (MF)*	3	467.16**	62.40**	24980.45**	2112.92*	786.54**
تنش شوری Salinity stress (S)	4	602.35**	34.61*	26674.12**	3319.49**	906.00**
MF × S	12	211.25**	28.45**	1251.12**	41.44**	44.53**
خطا Error	40	68.84	9.66	447.45	14.25	16.20

** و * به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

** and *: significant at $p\leq 0.01$ and $p\leq 0.05$, respectively

درصد روغن

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی قارچ و اثر متقابل قارچ و تنش شوری بر درصد روغن دانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود و تنش شوری بر درصد روغن دانه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان درصد روغن در تیمار میکوریزای *R. irregularis* با سطوح شوری ۶ و ۸ دسی زیمنس بر متر به‌ترتیب با میانگین ۳۱/۰۸۳ و ۳۰/۶۰۶ درصد و تیمار میکوریزای *G.versiform* با شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر با میانگین ۳۰/۴۷۶ درصد به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با دیگر تیمارها نشان داد و کم‌ترین میزان درصد روغن در تیمار بدون میکوریزا با شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر با میانگین ۴/۰۹۳ درصد بود. تیمار تلقیح با گونه میکوریزای *G. Versiform* نسبت به تیمار تلقیح با گونه میکوریزای *F. mosseae* برتری داشت اما اثر آن نسبت به تیمار تلقیح گونه میکوریزای *R. irregularis* کم‌تر بود (شکل ۲). استفاده از میکوریزا از طریق فراهمی جذب بیش تر فسفر و نیتروژن توسط ریشه، باعث بهبود عملکرد گیاه و افزایش درصد روغن شد. با توجه به این موضوع که حضور عناصری مانند نیتروژن و فسفر برای تشکیل ترکیب‌های روغن ضروری می‌باشد، از این رو همزیستی میکوریزایی از طریق جذب کارآمد فسفر و تا حدودی نیتروژن توسط ریشه بالنگوی شیرازی، موجب افزایش روغن این گیاه دارویی می‌شود علاوه بر این همزیستی قارچ میکوریزا با ریشه گیاه بالنگوی شیرازی از طریق افزایش جذب آب و عناصر پرمصرف در بهبود میزان درصد روغن مؤثر بوده است. این موضوع با نتیجه پژوهش کاپور و همکاران (Kapoor *et al*., 2004) مطابقت دارد.



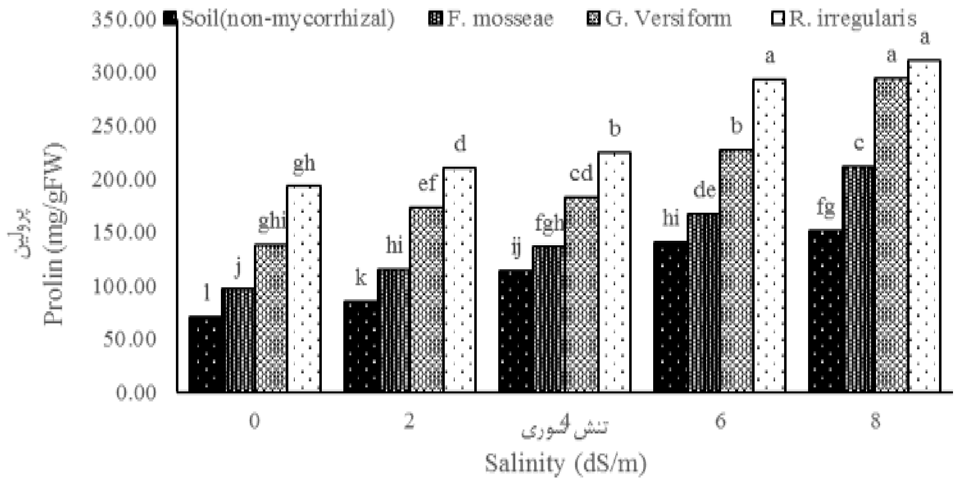
شکل ۲- اثر متقابل قارچ میکوریزا × تنش شوری بر درصد روغن دانه بالنگوی شیرازی

Figure 2- The interaction effect of *Mycorrhizal fungus* ×Salinity stress on grain oil percentage of *Lallemantia royleana* (DMRT, $p\leq 0.05$)

(Means with the same letters are no differences according to Duncan test at 5%)

محتوای پرولین

طبق نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌های مورد بررسی در پژوهش حاضر، تیمارهای قارچی و تنش شوری بر میزان پرولین برگ گیاه دارویی بالنگوی شیرازی اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ داشتند. همچنین اثر متقابل قارچ و تنش شوری نیز بر این صفت اثر معنی‌داری نشان داد (جدول ۲). تیمار میکوریزای و شوری اثر معنی داری بر میزان پرولین به‌دست آمده داشتند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان پرولین در تیمار میکوریزای *R. irregularis* با سطوح شوری ۶ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب با میانگین‌های ۳۱۱/۳۳۳ و ۳۰۴/۰۸۳ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ و تیمار میکوریزای *G.versiform* با شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر با میانگین ۳۰۰/۲۵۰ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با دیگر تیمارها نشان داد و کم‌ترین میزان پرولین در تیمار بدون میکوریزا با شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر با میانگین ۵۰/۰۸۳ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ بود. تیمار تلقیح با گونه میکوریزای *G. versiform* نسبت به تیمار تلقیح با گونه میکوریزای *F. mosseae* برتری داشت اما اثر آن نسبت به تیمار تلقیح گونه میکوریزای *R. irregularis* کم‌تر بود (شکل ۳). افزایش پرولین عمومی‌ترین واکنش گیاهان به تنش‌های محیطی است؛ از طرفی عامل اولیه، تجمع پرولین تحت تنش‌های رطوبتی کاهش تورژسانس سلولی است. از طرف دیگر معمول‌ترین و رایج‌ترین واکنش سازگاری بافت‌های گیاه در طی تنش آبی و تنش شوری تولید و تجمع اسیدهای امینه آزاد از قبیل پرولین است در شرایط تنشی، تجمع پرولین، به ایجاد تنظیم اسمزی در سلول‌های گیاه کمک می‌کند که به محض کمبود آب با کاهش پتانسیل اسمزی نه تنها در گیاهان بلکه در سایر جانداران مانند باکتری‌ها، جلبک‌ها و بی‌مهرگان دریایی مشاهده شده است (Chretien & Guillot, 2000). همچنین پرولین به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی از مرگ سلول‌ها در برابر تنش‌های محیطی جلوگیری می‌کند (Pireivatlou *et al*., 2010). پورک و همکاران (Porcel *et al*., 2004) تجمع سطوح بالایی از پرولین در گیاه سویا آمیخته شده با قارچ میکوریزا در مقایسه باگیاهان بدون قارچ تحت شرایط تنش گزارش کردند. معمولاً گیاهان تلقیح شده با میکوریزا با استفاده از روابط آبی و تغذیه بهتر نسبت به گیاهان بدون میکوریزا قادرند از شرایط تنش خشکی به‌طور موقت، فرار کنند و کم‌تر دچار آسیب شوند و در نتیجه میزان پرولین و قندهای محلول نسبت به گیاهان بدون میکوریزا افزایش نشان می‌دهد. براساس نتایج بدست آمده در این پژوهش، تیمار تلقیحی با قارچ میکوریزا ، میزان پرولین را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد که این نتیجه با یافته‌های ظفری و همکاران (Zafari *et al*., 2018) و علیخانی و محمدی زرندی (Alikhani & Mahmoudi Zarandi, 2019) همخوانی دارد.



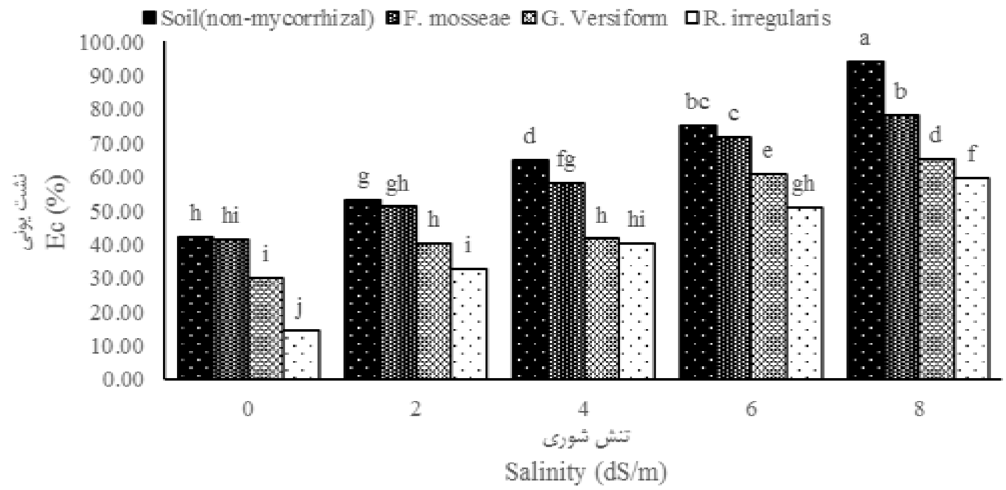
شکل ۳- اثر متقابل قارچ میکوریزا × تنش شوری بر محتوی پرولین بالنگوی شیرازی

Figure 3- The interaction effect of *Mycorrhizal fungus* ×Salinity stress on prolin content of *Lallemantia royleana* (DMRT, *p≤0.05*)

نشت یونی مواد

سطوح تیماری میکوریزای و شوری اثر معنی‌داری بر میزان نشت یونی در سطح احتمال ۱٪ داشتند (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان نشت یونی تحت شرایط تیمار بدون میکوریزا با

شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر با میانگین ۷۴ درصد و کم‌ترین میزان نشت یونی تیمار میکوریزای *R. irregularis* با سطوح شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر با میانگین ۱۴/۵۸ درصد به‌دست آمد. تیمار تلقیح با گونه میکوریزای *G. versiform* نسبت به تیمار تلقیح با گونه میکوریزای *F. mosseae* برتری داشت اما اثر آن نسبت به تیمار تلقیح گونه میکوریزای *R. irregularis* کم‌تر بود (شکل ۴). با توجه به نقش کلیدی غشاها در تنظیم متابولیسم سلول و اندامک‌ها، از میزان پراکسیداسیون لیپیدی و نشت یون‌های غشا به‌عنوان معیار ارزیابی آسیب به غشاهای زیستی استفاده می‌شود (Esfandiari *et al.*, 2013). افزایش نشت یونی غشا ناشی از رادیکال‌های اکسیژن فعال تولید شده در تنش اکسیداتیو است که بر لیپیدهای موجود در غشای سلول و اندامک‌های درون سلولی تأثیر گذاشته و موجب اختلال در کارکرد و ساختار غشاهای سلولی شده و میزان نشت مواد سیتوپلاسمی و هدایت الکتریکی سلولی را افزایش می‌دهد. بهم ریختگی غشا در پاسخ به افزایش شوری به‌صورت افزایش در نشت یونی توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (Kaya *et al.*, 2009). به احتمال زیاد کاهش میزان نشت یونی در تیمار با قارچ‌های مورد مطالعه می‌تواند ناشی از آسیب کم‌تر به پلاسمالما بر اثر تنش شوری باشد که بیانگر عملکرد خوب سازوکارهای دفاعی فعال در سیتوسول است (Esfandiari *et al.*, 2013). رمضان‌پور (Ramzanpour, 2016) بیان کرد که کاربرد قارچ میکوریزا موجب کاهش میزان نشت یونی در گیاه استویا شد. مشابه همین آزمایش توسط یعقوبیان (Yaghubian, 2015) بر روی گیاه خرفه صورت گرفت و بیان شد که کاربرد قارچ میکوریزا باعث کاهش نشت یونی می‌شود. دلیل این کاهش می‌تواند با نقش حفاظتی قارچ‌های همزیست و افزایش سازگاری گیاه به شرایط محیطی و به خصوص در شرایط تنش‌زا مرتبط باشد، چرا که این قارچ‌ها از طریق کاهش جذب عناصر سنگین و با ایجاد تغییراتی در سیستم دفاعی گیاه مانند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌توانند شرایط مناسب برای رشد گیاه را فراهم کرده و آسیب‌های ناشی از تنش‌های محیطی را کاهش دهند (Janouskova *et al.*, 2006).



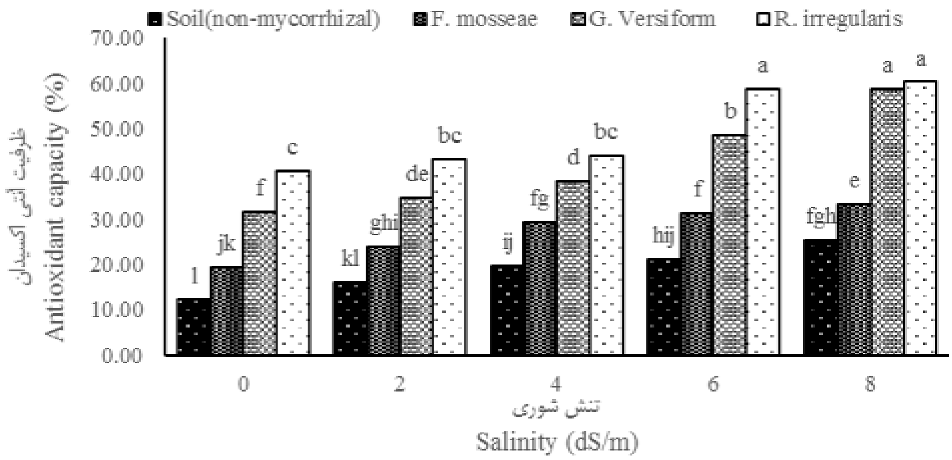
شکل ٤- اثر متقابل قارچ میکوریزا × تنش شوری بر نشت یونی مواد بالنگوی شیرازی

Figure 4- The interaction effect of *Mycorrhizal fungus* ×Salinity stresson ion leakage of *Lallemantia royleana* (DMRT, *p≤0.05*)

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس اثرات اصلی قارچ، تنش شوری و اثر متقابل آن‌ها بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار میکوریزای *R. irregularis* با سطوح شوری ۶ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب با میانگین ۶۰/۲۶۶ و ۵۸/۸۱۶ درصد و تیمار میکوریزای *G.versiform* با شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر میانگین ۵۸/۶۵۰ درصد به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با دیگر تیمارها نشان داد و کم‌ترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار بدون میکوریزا با شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر با میانگین ۱۲/۲۱۶ درصد بود که با دیگر تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان داد (شکل ۵). تیمار تلقیح با گونه میکوریزای *G. versiform* نسبت به تیمار تلقیح با گونه میکوریزای *F. mosseae* برتری داشت اما اثر آن نسبت به تیمار تلقیح گونه میکوریزای *R. irregularis* کم‌تر بود. آنتی‌اکسیدان‌های فلاونوئیدی به‌عنوان ترکیبات فعال فیزیولوژیکی نقش مهمی را در مقاومت گیاهان به تنش دارند (Singh *et al.*, 2011). افزایش گونه‌های فعال اکسیژن ناشی از تنش شوری زنگ خطری برای گیاهان محسوب شده و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌کسیدانی را به دنبال دارد (Siddiqui

(et al., 2010). افزایش آنتی‌اکسیدان در تیمار میکوریزا و تیمار شوری به این دلیل می‌باشد که سیستم دفاعی گیاه تولید آنزیم‌های آنتی اکسیدان را برای خنثی کردن شکل‌های سمی اکسیژن افزایش می دهد و قارچ شدت این افزایش را بهبود می‌بخشند که می‌تواند به دلیل ساختمان شیمیایی ایزوآنزیم‌های فلزی مس و روی و منگنز باشد. همچنین فاکتورهای هورمونی ارسالی برای ساخت آنزیم‌های آنتی-اکسیدان نیز حاوی عناصر روی و کلسیم است (Siddiqui et al., 2010). قارچ‌های میکوریزا با افزایش جذب عناصر غذایی سبب ارسال بیش‌تر فاکتورهای هورمونی و افزایش فعالیت آنزیم‌ها می‌شوند که همگی در افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌توانند مؤثر باشند (Parida & Das, 2005).



شکل ۵- اثر متقابل قارچ میکوریزا × تنش شوری بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی بالنگوی شیرازی

Figure 5- The interaction of *Mycorrhizal fungus* ×Salinity stress on antioxidant capacity of *Lallemantia royleana* (DMRT, *p≤0.05*)

عناصر معدنی

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌های تحقیق حاضر، اثر اصلی قارچ‌های میکوریزا، تنش شوری و اثر متقابل قارچ در تنش شوری بر مقدار سه عنصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). میزان نیتروژن به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار میکوریزای و شوری قرار گرفت و گونه‌های مختلف میکوریزای اثر متفاوتی بر میزان غلظت نیتروژن در گیاه بالنگوی شیرازی داشتند. با افزایش شوری میزان غلظت نیتروژن کاهش یافت. بیش‌ترین میزان غلظت نیتروژن در تیمار میکوریزای *R. irregularis* با سطح شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر با میانگین ۷/۳۳۰ درصد وزن خشک) به‌دست آمد که با تیمار گونه میکوریزای *R. irregularis* با سطح شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری نداشت ولی با دیگر تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان داد و کم‌ترین میزان نیتروژن مربوط به تیمار بدون میکوریزا با سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر با میانگین ۱/۱۳۵ درصد وزن خشک به‌دست آمد. تیمار تلقیح با گونه میکوریزای *G. versiform* نسبت به تیمار تلقیح با گونه میکوریزای *F. mosseae* برتری داشت اما اثر آن نسبت به تیمار تلقیح گونه میکوریزای *R. irregularis* کم‌تر بود (شکل ۶). خاک‌های شور معمولاً از نظر مقدار نیتروژن فقیر هستند از طرفی اضافه نمودن کودهای نیتروژنی می‌تواند شوری خاک را بیش ترکند. قارچ‌های میکوریزای تأثیر عمیقی بر فیزیولوژی ریشه گیاه گذاشته که سبب فعال ساختن گلوتأمین سنتتاز، آرژیناز و اوره آز شده و از این طریق غلظت نیتروژن را در گیاهان میزبان افزایش می‌دهند در نتیجه می توان با دادن کود کم‌تر به نتیجه دلخواه رسید (Bago et al., 2001). در رابطه با تأثیر تیمارهای باکتریایی و قارچی می‌توان بیان نمود که جذب عناصر غذایی توسط گیاه تابع دو عامل رشد و توسعه ریشه و فراهمی عناصر غذایی در خاک است (Ehteshami et al., 2013 ; Abedy & Esfandiari, 2018). بنابراین، می‌توان از دلایل قابل ذکر در این زمینه به توسعه سطح ریشه و جذب بیش تر نیتروژن از خاک اشاره نمود که موجب زیادشدن میزان نیتروژن در اندام هوایی گردیده است. بایروا و همکاران (Bairva et al., 2012) با مطالعه روی گیاه شنبلیله نشان دادند که تلقیح باکتری‌های ریزوبیوم و حل کننده فسفر منجر به افزایش نیتروژن و فسفر قابل دسترس شده است.

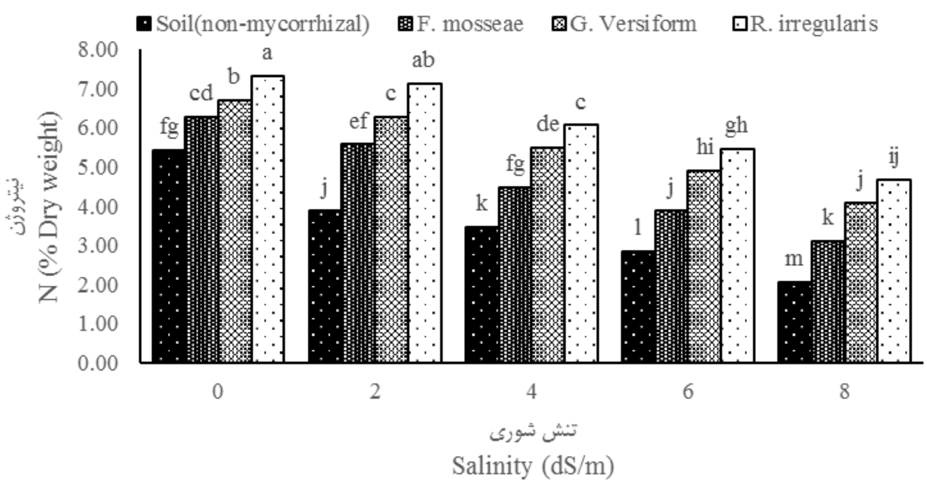
جدول ۳- تجزیه واریانس اثرات قارچ میکوریزا و تنش شوری بر میزان عناصر معدنی در گیاه بالنگوی شیرازی

Table 2- ANOVA for the effects of mycorrhizal fungi and salinity stress on the mineral content of *Lallemantia royleana* plant

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares		
		نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K
قارچ میکوریزا *Mycorrhizal fungus (MF)*	3	5.45**	0.02**	0.45*
تنش شوری Salinity stress (S)	4	6.82**	0.07**	0.60**
MF × S	12	2.58**	0.01**	0.18**
خطا Error	40	0.33	0.001	0.03

** و * به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

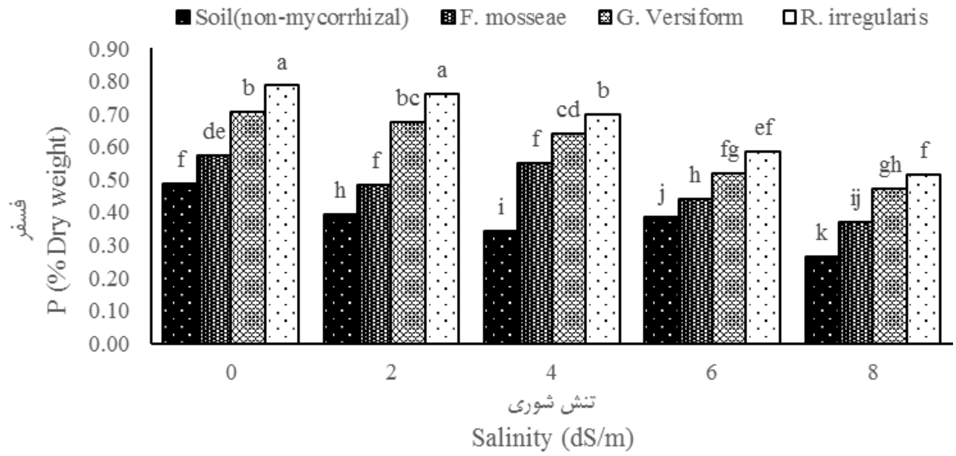
** and *: significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively



شکل ٦- اثر متقابل قارچ میکوریزا × تنش شوری بر میزان نیتروژن گیاه بالنگوی شیرازی

Figure 6- The interaction effect of *Mycorrhizal fungus* ×Salinity stress on N contentof *Lallemantia royleana* plant (DMRT, $p \leq 0.05$)

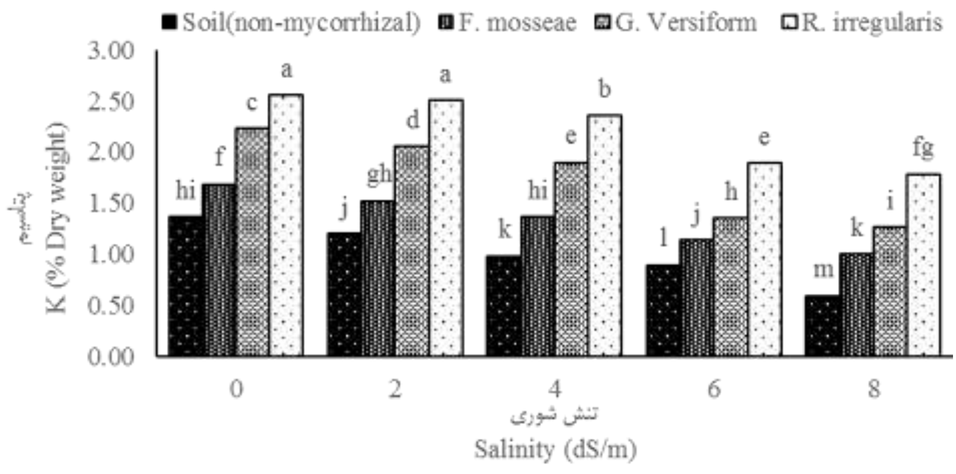
مقایسه میانگین میزان فسفر در تیمارهای میکوریزای و شوری نشان داد که قارچ‌های میکوریز می‌توانند با افزایش جذب فسفر توسط گیاه، اثرات منفی تنش شوری را کاهش دهند. بیش‌ترین میزان غلظت فسفر در تیمار میکوریزای *R. irregularis* با سطوح شوری صفر و دو دسی‌زیمنس بر متر با میانگن ۰/۷۸۶ و ۰/۷۶۰ درصد وزن خشک بود و کم‌ترین میزان غلظت فسفر مربوط به تیمار بدون میکوریزا با سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر با میانگین ۰/۱۴۳ درصد وزن خشک به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با دیگر تیمارها نشان داد (شکل ۷). قارچ‌های میکوریزا با افزایش سطح جذب ریشه‌ها و هم چنین آزادسازی اسیدها و اسیدی کردن محیط ریزوسفر، عناصر کم تحرک را حل و برای گیاه قابل استفاده می‌کنند که با نتایج فصیحی و همکاران (Fasihi *et al*., 2014) مطابقت دارد. آقابابایی و رئیسی (Aghababaei & Raiesi, 2011) تأثیر هم زیستی میکوریزای (*F. mosseae* و *R. irregularis*) بر میزان فتوسنتز و راندمان مصرف آب را بررسی نموده و نتیجه گرفتند قارچ‌های میکوریزای باعث افزایش ۴۰ درصدی غلظت فسفر در گیاه همزیست نسبت به شاهد شدند. تیمار تلقیح با گونه میکوریزای *G. versiform* نسبت به تیمار تلقیح با گونه میکوریزای *F. mosseae* برتری داشت اما اثر آن نسبت به تیمار تلقیح گونه میکوریزای *R. irregularis* کم تر بود. در کشت مخلوط آفتابگردان و گونه‌ای از سیر عنوان شده است که همزیستی میکوریزایی، سبب افزایش جذب عناصر غذایی کم تحرک همچون فسفر شده و آن‌ها را به‌صورت قابل جذب برای گیاه در می‌آورد (Zhanga *et al*., 2019).



شکل ۷- اثر متقابل قارچ میکوریزا × تنش شوری بر میزان فسفر گیاه بالنگوی شیرازی

Figure 7- The interaction effect of *Mycorrhizal fungus* ×Salinity stress on P content of *Lallemantia royleana* plant (DMRT, *p≤0.05*)

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین میزان غلظت پتاسیم در تیمار میکوریزای *R. irregularis* با سطوح شوری صفر و دو دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب، ۲/۵۵۳ و ۲/۵۰۶ درصد وزن خشک و کم‌ترین میزان غلظت پتاسیم در تیمار بدون میکوریزا با شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر با میانگین ۰/۴۹۶ درصد وزن خشک بود. که اختلاف معنی‌داری با دیگر تیمارها نشان داد. تیمار تلقیح با گونه میکوریزای *G. versiform* نسبت به تیمار تلقیح با گونه میکوریزای *F. mosseae* برتری داشت اما اثر آن نسبت به تیمار تلقیح گونه میکوریزای *R. irregularis* کم‌تر بود (شکل ۸). در رابطه با پتاسیم، می‌توان بیان نمود که از بین شکل‌های مختلف این عنصر، فقط شکل‌های محلول و تبادلی آن قابل استفاده گیاه هستند و بقیه شکل‌ها تقریباً غیرقابل استفاده می‌باشند. بنابراین، برای تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه، این عنصر باید به طریقی از شکل‌های تثبیت شده و معدنی به شکل‌های تبادلی و محلول تبدیل شود. ریز جانداران متعدد شامل باکتری‌ها، قارچ‌ها و مخمرها قادرند سیلیکات را تجزیه کرده و عناصری چون پتاسیم، فسفر، آهن، روی و سیلیسیم را آزاد کنند (Bahari Meymandi *et al*., 2022). در گیاهان میکوریزی غلظت پتاسیم نیز بیش تر از گیاهان غیرمیکوریزی گزارش شده است و بدین ترتیب با افزایش نسبت پتاسیم به سدیم، هم زیستی میکوریزی گیاه را در برابر اثرات منفی سدیم (تنش شوری) محافظت می‌نماید (Ashraf, 2010).



شکل ۸- اثر متقابل قارچ میکوریزا × تنش شوری بر میزان پتاسیم گیاه بالنگوی شیرازی

Figure 8- The interaction effect of *Mycorrhizal fungus* ×Salinity stress on K content of *Lallemantia royleana* plant (DMRT, *p≤0.05*)

این افزایش پتاسیم با کاربرد میکوریزا را می‌توان به نقش باکتری‌های آزاد کننده پتاسیم و قارچ میکوریزا نسبت داد. پارسا مطلق و همکاران (ParsaMotlagh *et al*., 2016) در بررسی تأثیر قارچ میکوریزا بر عناصر غذایی لوبیا مشاهده کردند که قارچ میکوریزا منجر به افزایش غلظت عنصر پتاسیم برگ لوبیا شد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که، تلقیح میکوریز اثر مثبت و معنی‌داری بر میزان عملکرد بذر، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، درصد روغن، میزان پرولین و غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاه بالنگوی شیرازی (*L. royleana*) داشت. همچنین نتایج بیانگر این بود که، استفاده از میکوریزا در کشت بالنگوی شیرازی (*L. royleana*) می‌تواند تا حدی از بروز کمبود عناصر در خاک‌های شور جلوگیری نماید و از مصرف زیاد کودهای شیمیایی بکاهد. این امر در مطالعات انجام شده توسط سایر پژوهشگران در گیاهان دارویی مورد تأیید قرار گرفته است. استفاده از همزیستی میکوریزایی در خاک‌های شور باعث افزایش و مقاومت گیاه به شوری می‌گردد، بنابراین با به کارگیری سویه میکوریزایی مناسب و مقاوم به شوری، می‌توان از خروج خاک های شور کشور از چرخه تولید جلوگیری نمود و مانع مصرف بیش ازحد کودهای شیمیایی و مشکلات حاصل از مصرف آن‌ها شد.

References

1. Abbas, M., Mehmood, T., & Arshed Bashir, A. (2012). Economics of *Lallemantia royleana* Production in the Low Intensity Cropping Zone of the Punjab, Pakistan. *Pakistan Journal Agriculture Research*, *2*(25), 1-15.
2. Abdulrasool, A.A., Abdulmuttalib, A.N., & Rahi, F.A. (2011). Application of seed mucilage extracted from Lallemantia royleana as a suspending agent. *Iraqi Journal Pharm Science*, *20*, 8-13.
3. Abedy, B., & Esfandiari, B. (2018). Effect of mycorrhizal fungi on morphophysiologicaland nutritional factors of flying dragon rootstock under salt stress. *Journal of Horticultural Science*, *32*(2), 335-344. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v32i2.70246
4. Aghababaei, F., & Raiesi, F. (2011). The influence of mycorrhizal symbiosis on chlorophyll, photosyntetise and water use efficiency in four almond genotypes in Chahar Mahal va Bakhtiary. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, *15*(56), 91-102. (In Persian with English abstract).
5. Aliasgharzadeh, N., Saleh Rastin, N., Towfighi, H., & Alizadeh, A. (2001). Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in saline soils of the Tabriz Plain of Iran in relation to some physical and chemical properties of soil. *Mycorrhiza*, *11*, 119-122. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.1007/s005720100113
6. Alikhani, S., & Mahmoudi Zarandi, M. (2019). Effect of coinoculation with endomycorrhiza, *Pseudomonas aeroginosa* and *Rhizobium meliloti* on *Medicago sativa* L. under water stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *32*(1), 75-85. (In Persian with English abstract).
7. ALKhaliel, A.S. (2010). Effect of salinity stress on mycorrhzal association and growth response of peanut infected by *Glomus mosseae*. *Plant Soil Environmental*, *56*(7), 318-324.
8. Amanifar, S., & Toghranegar, Z. (2020). The efficiency of arbuscular mycorrhiza for improving tolerance of *Valeriana officinalis* L. and enhancing valerenic acid accumulation under salinity stress. *Indestrial Crops Production*, *147*, 112234. https://doi.org/10.1016/j. indcrop.2020.112234
9. Amini, M. (2007). Extraction optimization of Balangu seed gum and effect of Balangu seed gum on the rheological and sensory properties of Iranian flat bread, MSc thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, 2007. (In Persian)
10. Ashraf, M. (2010). Inducing drought tolerance in plants: recent advances. *Biotechnology Advances*, *28*, 169-183.
11. Bago, B., Pfeffer, P., & Shachar-Hill, Y. (2001). Could the urea cycle be translocating nitrogen in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist*, *149*, 4-8.
12. Bahari, Meymandi, S.A.H., Sharafzadeh, S., Alizadeh, O., Bazrafshan, F., & Amiri, B. (2022). Effect of application of organic and biological fertilizers on growth and biochemical characteristics of fennel (*Foeniculum vulgar* Miller) under greenhouse conditions. *Journal of Horticultural Science*, *36*(1), 285-306. https://doi.org/10.22067/JHS.2021.70948.1063
13. Bairva, M., Meena, S.S., & Mehta, R.S. (2012). Effect of bio-fertilizers and plant growth regulators on growth and yield of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *International Journal of Seed Spices*, *2*(1), 28- 33.
14. Bates, L.S., Waldern, R.P., & Teave, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060.
15. Baum, C., El-Tohamy, W., & Gruda, N. (2015). Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: a review. *Science Horticultural*, *187*, 131–141. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.002
16. Behdad, A., Mohsenzadeh, S., Azizi, M., & Moshtaghi, N. (2020). Salinity effects on physiological and phytochemical characteristics and gene expression of two *Glycyrrhiza glabra* L. populations. *Phytochemistry*, *171*,

112236. https://doi.org/10.1016/j. phytochem.2019.112236

17. Benzie, I.F.F., & Strain, J.J. (1996). The Ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of 'antioxidant power: the FRAP assay. *Analytical Biochemistry, 239*, 70–76. https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292
18. Boughalleb, F., Abdellaoui, R., Mahmoudi, M., & Bakhshandeh, E. (2020). Changes in phenolic profile, soluble sugar, proline, and antioxidant enzyme activities of *Polygonum equisetiforme* in response to salinity. *Turkish Journal Botany, 44*, 25–35. https://doi.org/10.3906/bot-1908-2
19. Caretto, S., Linsalata V., Colella G., Mita G., & Lattanzio V. (2015). Carbon fluxes between primary metabolism and phenolic pathway in plant tissues under stress. *International Journal Molecular Science, 16*, 26378–26394. https://doi.org/10.3390/ijms161125967
20. Chretien, D., & Guillot, T. (2000). Lipid and protein changes in jojoba under salt stress. *Physiology Plant, 85*, 372-380.
21. Daghighi, S., Azarmi-Atajan, F., & Chopani, N. (2022). Evaluation of response of growth and physiological factors of barberry (*Berberis vulgaris* L.) inoculated with plant growth-promoting rhizobacteria to salinity of irrigation water. *Journal of Horticultural Science, 36*(2), 533-547. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JHS.2022.74621.1126
22. Dalpe, Y. (1993). *Vesicular-arbuscular mycorrhizal, Soil sampling and methods of analysis*. Lewis Publishers, Boca Raton. Pp: 287-301.
23. Ehteshami, S., Pourebrahimi, M., & Khavazi, K. (2013). Effect of *Pseudomonas fluorescens* strain 103 integrated with phosphorus fertilizer on nutrients concentration and biological yield of two barley cultivars in greenhouse conditions. *Journal Science Technology Greenhouse Cul, 4*, 15-26.
24. Esfandiari, A.A., Javadi, A., & Shokrpur, D. (2013). Evaluation of biochemical and physiological characteristics of wheat cultivars in response to salt stress in seedling stage. *Journal Crop Improve, 15(*1), 27-38. (In Persian with English abstract)
25. Evelin, H., Devi, T.S., Gupta, S., & Kapoor, R. (2019). Mitigation of salinity stress in plants by arbuscular mycorrhizal symbiosis: Current understanding and new challenges. *Front. Plant Science, 10*, 470. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00470
26. Fasihi, M., Shamshiri, M.H., Karimi, H.R., & Roosta, H.R. (2014). Effect of arbuscular mycorrhiza (*Glomus mosseae*) on growth of greenhouse cucumber (*Cucumis sativus* cv. Nahid) under different levels of sodium bicarbonate in irrigation water. *Technology Greenhouse Culture, 5*, 53-62. (In Persian with English abstract)
27. Food and Agriculture Organization [FAO] 2015. *Status of the Worlds's Soil Resources (SWSR) – Main Report*. Rome: Food and Agriculture Organization.
28. Hill, T.W., & Kafer, E. (2001). Improved protocols for *Aspergillus* minimal medium: trace element and minimal medium salt stock solutions. *Fungal Genetics Reports, 48*, 8. https://doi.org/10.4148/1941-4765.1173
29. Janouskova, M., Pavikova, D., & Vosatka, M. (2006). Potential contribution of arbuscular mycorrhiza to cadmium immobilisation in soil. *Chemosphere, 65*(11), 1959-1965.
30. Kapoor, R., Giri, B., & Mukerji, K.G. (2004). Improved growth and essential oil yield and quality in foeniculum vulgare Mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. *Bioresource Technology, 93*, 307-311.
31. Kaya, C., Ashraf, M., Sonmez, O., Aydemir, S., Tuna, A.L., & Cullu, M.A. (2009). The influence of arbuscular mycorrhizal colonisation on key growth parameters and fruit yield of pepper plants grown at high salinity. *Journal of Horticultural Science, 121*, 1-6.
32. Li, Y., Kong, D., Fu Y., Sussmand, M.R., & Wu, H. (2020). The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants. *Plant Physiology Biochemistry, 148*, 80–89. https://doi.org/10.1016/j.plaphy. 2020.01.006
33. Mavi, M.S., & Marschner, P. (2013). Salinity affects the response of soil microbial activity and biomass to addition of carbon and nitrogen. *Soil Research, 5(*1), 68-75.
34. Naghibi, F., Mosaddegh, M., Motamed, S.M., & Ghorbani, A. (2005). Labiatae family in folk medicine in Iran: from ethnobotany to pharmacology. *Iran Journal Pharmcology Resarch, 2*, 63-79. (In Persian with English abstract)
35. Parida, A.K., & Das, A.B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 60*, 324-349.
36. ParsaMotlagh, B., Mahmoodi, S., Sayyari-Zahan, M., & Naghizadeh, M. (2016). Effect of mycorrhizal fungi and phosphorus fertilizer on concentration of leaf nutrients and photosynthetic pigments of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress condition. *Journal of Agroecology, 3*(2), 233-244. (In Persian with English abstract)
37. Pireivatlou, A.S., Masjedlou, B.D., & Aliye,v R.T. (2010). Evaluation of yield potential and stress adaptive trait in wheat genotypes under post anthesis drought stress conditions. *African Journal of Agricultural Research, 5*(20), 2829-2836.
38. Porcel, R., & Ruiz-Lozano, J.M. (2004). Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. *Journal of Experimental Botany,*

55, 1743–1750.

39. Ramzanpour Ahmadchali, A. (2016). *Effect of Piriformospora indica endophyt fungi on copper tolerance of stevia (Stevia rebaudiana Bertoni) medicinal plant in a controlled conditions*. M.Sc. thesis of science degree in agronomy. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University 115p. (In Persian)
40. Razavi, S.M.A., Mohammadi Moghaddam, T., & Mohammad Amini, A. (2008). Physical-mechanical properties and chemical composition of Balangu seed. *International Journal of Food Engineering*, *4*(5), 7-31. https://doi.org/10.2202/1556-3758.1354
41. Redman, J.R., Petroni, G.R., Saigo, P.E., Geller, N.L., & Hakes, T.B. (1986). Prognostic factors in advanced ovarian carcinoma. *Journal of Clinical Oncology*, *4*(4), 515-523.
42. Sadat, F., Savaghebi, G., Rejali, F., Farahbakhsh, M., Khavazi, K., & Shirmardi, M. (2010). Effects of some arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promotin rhizobacteria on the growth and yield indices of two wheat varieties in a saline soil. *Journal Water Soil*, *24*, 53-62. (In Persian with English abstract)
43. Santander, C., Ruiz, A., García, S., Aroca, R., Cumming, J., & Cornejoa, P. (2019). Efficiency of two arbuscular mycorrhizal fungal inocula to improve saline stress tolerance in lettuce plants by changes of antioxidant defense mechanisms. *Journal Science Food Agriculture*, *100*, 1577–1587. https://doi.org/10.1002/jsfa.10166
44. Seyed sharifi, R., & Namvar, A. (2015). *Bio fertilizers in agronomy.* University of Mohaghegh Ardabili 280. (In Persian).
45. Siddiqui, M.H., Mohammad, F., Nasir Khan, M., HAL-Whaibi, M., & Bahkali, A.H.A. (2010). Nitrogen in relation to photosynthetic capacity and accumulation of osmoprotectant and nutrients in Brassica genotypes grown under salt stress. *Agricultural Sciences in Chinaan*, *5*, 671-680.
46. Singh, R., Shushni, A. M., & Belkheir, A. (2011). Antibacterial and antioxidant activities of *Mentha piperita* L. *Arabian Journal of Chemistry*, *1*, 1-5.
47. Soleimani, F., Samsampour, D., & Bagheri, A. (2023). Investigating the effect of arbuscular fungus on the medicinal plant lemon grass (*Cymbopogon citratus*) under salt stress. *Journal of Horticultural Science*, *37*(3), 643-653. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2022.75236.1140
48. Soxhlet, F. (1879). Die gewichtsanalytische Bestimmung des Milchfettes. *Polytechnisches Journal*, *232*, 461.
49. Toscano, S., Trivellini, A., Cocetta, G., Bulgari, R., Francini, A., & Romano, D. (2019). Effect of preharvest abiotic stresses on the accumulation of bioactive compounds in horticultural produce. *Front Plant Science*, *10*, 1212. https://doi.org/10.3389/ fpls.2019.01212
50. Yaghubian, Y. (2015). *The effect of Piriformospora indica and Trichoderma spp. on cadmium tolerance in medicinal herbs of Melissa officinalis L. and Purple (Portulaca oleracea L.).* PhD. thesis of science degree in agronomy. Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan. 186p. (In Persian with English abstract)
51. Zafari, M., Ebadi, A., & Jahanbakhsh gadekahriz, S. (2018). Combined effect on fungi and bacteria metabolites on increased osmolytes of compatibility of alfalfa in the water deficit stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *31*(1), 194-205. (In Persian with English abstract)
52. Zargari, A. (1980). *Medical plants*, Tehran University Press, Iran. P: 4272.
53. Zelm, E.V., Zhang, Y., & Testerink, C. (2020). Salt tolerance mechanisms of plants. *Annual Rev. Plant Biology*, *71*, 403–433. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant- 050718-100005
54. Zhang, Y., Proenca, R., & Maffei, M. (1994). Positional cloning of the mouse *obese* gene and its human homologue. *Nature*, *372*, 425–432.
55. Zhanga, Y., Hua, J., Bai, J.F., Qin, H., Wang, J., Wang, J., & Lin, X. (2019). Intercropping with sunflower and inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi promotes growth of garlic chive in metal-contaminated soil at a WEEE- recycling site. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *167*, 376–384. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.10.046